© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Zur Hydrogeologie Jordaniens

W. WAITZBAUER & B. PETUTSCHNIG

Abstract: On the hydrogeology of Jordan. — Jordan is an arid country. The rivers Jordan, its tributary Yarmuk and Wadi Main, which is supplied with water from thermal springs, are the only important perennial rivers. All remaining running water bodies are wadis that are usually dry during the summer time. The Azraq oasis obtains its rich water supplies from large aquifer systems originating in the Syrian region. The upper aquifer is used as drinking water and is pumped to Amman. Due to this over-exploitation of these famous freshwater ponds the oasis was largely dry until its restoration several years ago. Water from winter rain collects in the Qa'a of Azraq, a big sebka (playa) near Azraq, and is therefore an important nature reserve and resting area for migrating birds. A number of surface water drainage basins can be found in Jordan. The Disi area, for example, which is located in the southern sandstone desert of Wadi Rum, contains a large, but non-renewable, amount of fossil groundwater. This water is also used as drinking water and supplied to Amman, as well as for irrigation. Huge, but largely unexplored water reserves are stored in the deep Pleistocene gravel of Wadi Araba. Altogether, the water situation in Jordan is very critical and can turn into a serious problem in the future, due to the rapid population growth, the large demand of water for agriculture and the increasing tourism. The Dead Sea is a large, extremely salty inland lake, famed as the lowest point on earth with a complex history of origin.

Key words: Hydrogeology of Jordan, wadi, groundwater, fossil water, Dead Sea.

Einleitung

Die hydrogeologische Situation Jordaniens wird einerseits durch Niederschläge mit starkem Gefälle von Westen nach Osten bzw. Norden nach Süden, durch die oberirdische Wasserführung über wenige permanente Flüsse, zahlreiche periodische Trockenflüsse und Regenpfannen, durch Thermen- und Thermalquellsysteme mit vielfach reicher Schüttung und die Grundwasserreservoirs der Azraq-Sirhan-Senke, des Wadi Araba und der südjordanischen Wüstengebiete charakterisiert. Das Tote Meer wiederum hat eine sehr spezifische Rolle im ökologischen Haushalt der Grabensenke.

Die jährlichen winterlichen Niederschlagsmengen steuern diese Systeme durch ihre Spannweite zwischen 600 und weniger als 50 mm in hohem Maß und bewirken eine Gliederung des Landes in scharf abgegrenzte Großräume, welche allerdings zum größten Teil von Aridität geprägt sind und daher Steppen-, Halbwüsten- oder Vollwüstencharakter besitzen.

Die Wasserscheiden Jordaniens

Die meisten Autoren (BENDER 1968, HOROWITZ 1988, GARFUNKEL 1988, ATALLAH 1991) sind sich einig, dass vor der Bildung des Wadi Araba-Jordan Grabens im Bereich des betrachteten Gebietes die Landschaft eine Ebene war, durch die Flüsse zum Mittelmeer flossen (KLEIN 1988).

Durch die morphologische Differenzierung bildeten sich entlang der gehobenen Gebiete Wasserscheiden, welche die wichtigsten Einzugsbereiche der heutigen Wasserläufe begrenzen (Abb. 1).

Nach ABU-SAFAT (1986) sind die wichtige Wasserscheiden und Haupteinzugsgebiete:

Die Azraq-Wadi Sirhan-Depression. Sie sammelt während der niederschlagsreichen Jahreszeit große Wassermengen über ein 10-teiliges Wadisystem, dem auch Zubringer aus dem Einzugsgebiet des Jebel ed-Druze im Südosten Syriens angehören (vgl. Kap. Oase Azraq). Jenseits der Basaltfelder der syrischen Wüste wird in abflusslose Regenpfannen entwässert.

Denisia 14, zugleich Kataloge der OÖ. Landesmuseen Neue Serie 2 (2004), 55–76

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 1: Übersicht der hydrogeologischen Situation Jordaniens. Das östliche Grabenrandgebirge ist eine wichtige Wasserscheide. Sie entwässert über meist permanente Flüsse nach Westen in das Jordantal und zum Toten Meer und östlich davon durch Trockenflüsse in weite Ebenen oder abflusslose Senken.

Die Wasserscheide des Jebel er-Risha im zentralen Teil des Wadi Araba; nördlich davon wird zum Toten, südlich davon zum Roten Meer entwässert.

Das Gebirge am Ostrand des Grabens, das im südlichen Bereich als Wasserscheide zur Steilstufe von Ras en Naqb umbiegt; westlich davon wird zum Jordan, zum Toten Meer und zum Wadi Araba entwässert. Das einzige Wadi Yutum, welches die Wadi-Läufe der südlichen Sandsteinwüste sammelt – sofern diese nicht in abflusslosen Becken der Achse Rum-Mudawwara enden – entwässert direkt zum Roten Meer.

Östlich davon enden Wadiläufe in der weiten, abflusslosen Regenpfanne von El Jafr.

Saisonelle Flüsse (Widyan)

Als „Trocken-Flusstäler", Widyan (im arabischen Mehrzahl von Wadi, gebräuchlich ist aber „Wadis"), werden Wasserläufe bezeichnet, die Regenwasser nach episodisch auftretenden Starkregen – meist in den Wintermonaten – abführen, aber mit Ausnahme der größeren Flüsse (vgl. Kap. Perennierende Flussläufe) über keine ganzjährige oberflächliche Wasserführung verfügen. Dennoch sind sie meist durch einen oberflächennahen Grundwasserstrom oder tiefer liegende Feuchtigkeitshorizonte und insgesamt vegetationsbegünstigte hydrologische Bedingungen gekennzeichnet. In Wüstengebieten stellen sie daher Zentren der Vegetationsentwicklung dar und sind in ihrem Verlauf auch während der langen Trockenzeit durch grundwasserbegleitende, kontrahierte Vegetationssäume verschiedener Baum- und Straucharten gut erkennbar (Abb. 2).

Typische Grundwasserzeiger sind:

Oleander (*Nerium oleander*, Apocynaceae) als Begleiter von Bächen und Flüssen und Flussauen im Norden (Jordan, Wadi ez Zarqa), im zentralen Teil Jordaniens (Zerqa Ma'in, Wadi Walla, Wadi el-Hesa, Wadi Mujib), in schattigen Schluchten auch im Süden (Wadi Musa, Petra), jedoch wenig tolerant gegen Salzeinfluss (Abb. 3).

Tamarisken (*Tamarix* sp., Tamaricaceae) entlang von Wadis (Wadi Dana, Fluss-„Au" in der Mündung des Wadi Mujib u. a.). Tamarisken sind sehr salztolerant und besiedeln in lockeren Beständen auch lokal den Rand des Toten Meeres und saliner Tonpfannen (Oase Azraq) (Abb. 4).

Akazien (*Acacia raddiana*, *A. tortilis*, Mimosaceae) entlang von Wadis im Bergland östlich von Aqaba (Wadi Yutm) und auf grundwasserführenden Schotterfächern im Wadi Araba (Abb. 5).

Wüstenginster, Retam (*Retama raetam*, Fabaceae) wächst bevorzugt entlang sandiger Gerinne (gute Wasserspeicherung) im Wadi Rum und kann dichte Bestände bilden.

„Wüstenbaum" (*Haloxylon persicum*, Chenopodiaceae) wie vorhin, besiedelt dort regelmäßig auch tiefe, wasserspeichernde Sanddünenflächen. (Abb. 6).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 2: Konzentrierte Vegetation (*Retama raetam*) begleitet ein Wadi in der südjordanischen Wüste im Wadi Rum.

Abb. 3: Dichte Oleander- und *Arundo donax*-Bestände säumen das Ufer des Wadi Feinan.

Abb. 4: Selbst die sehr salztolerante Ufervegetation des Toten Meeres, Tamarsiken und Arabische Salzbinsen, stirbt bei höherem Wasserstand durch den extremen Salzgehalt des Toten Meeres, der im verlandenden Südbecken bereits über 33 % beträgt.

Abb. 5: Diese mächtige Akazie (*Acacia raddiana*) in der Wüstenlandschaft des Wadi Araba profitiert von der Grundwasserversorgung durch ein nahes Wadi.

Abb. 6: Sträucher des Saxaul, *Haloxylon persicum*, besiedeln eine Sandfläche im Wadi Rum.

Abb. 7: Alte Pistazienbäume (*Pistacia atlantica*) verweisen auf reiche Grundwasservorräte in den Schotterschichten des ausgetrockneten Wadi Dana.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 8: Der Jordan und seine begleitende Aue bilden ein grünes Band inmitten einer durch intensivste Langzeitnutzung zur Halbwüste degradierten Hügellandschaft.

Abb. 9: Der Yarmuk an der syrischen Grenze ist der größte Wasserzubringer des Jordan.

Abb. 10: Das Wadi Wala ist ein großes Durchbruchstal mit teilweise schluchtenartigem Charakter. Im Sommer bleiben nur wenige tiefe, wassergefüllte Kolke als Rückzugsgebiete der aquatischen Fauna erhalten.

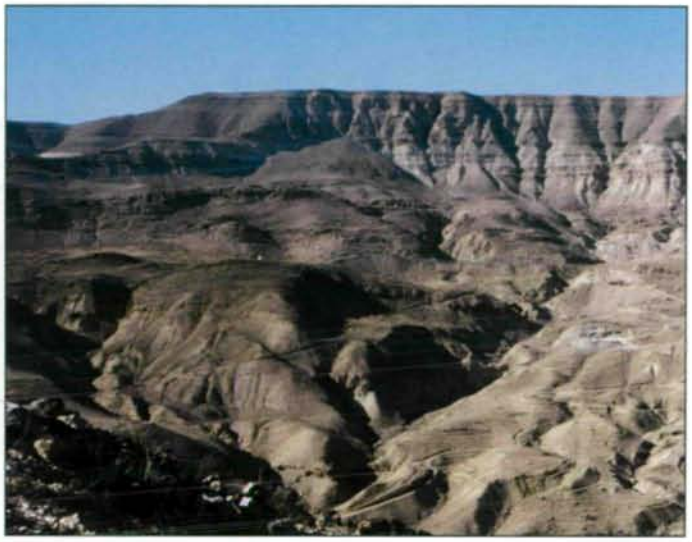

Abb. 11: Der mächtige Canyon des Wadi Mujib durchschneidet markant das östliche Randgebirge.

Abb. 12: Über 400 m tief hat sich das Wadi durch die weichen Kreidesedimente seinen Lauf gebahnt.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Wilde Pistazien (*Pistacia atlantica*, Anacardiaceae) entlang von Wadis der nordöstlichen Wüste (Wadi Butm nahe Qasr Amra), vereinzelt in großen Widyan (unteres Wadi Dana) und lokal in höheren Lagen nahe Petra (Wadi bei Shaubak mit sehr alten und mächtigen Bäumen) (Abb. 7).

Perennierende Flussläufe

In Jordanien ist die Anzahl ständig fließender Flüsse und Bäche gering. Mit Ausnahme des Jordansystems sind sie überwiegend auf das Bergland östlich des Grabenbruches beschränkt und gehören zum Einzugsgebiet des Toten Meeres oder des nördlichen Wadi Araba. Auch dort ist Oberflächenwasser zu gewissen Zeiten nur auf einzelne Wadi-Abschnitte beschränkt (BAIERLE 1993).

Als wichtigste Flüsse gelten der Jordan zwischen dem See Tiberias und dem Toten Meer mit seinen östlichen Nebenflüssen Yarmuk, Zarqa und Wadi Shu'eib, die unmittelbar in das Tote Meer mündenden Widyan Zerqa Ma'in, Walla, Mujib (= Arnon-Fluss), Kerak, el-Hesa und Hisban sowie die in die Wadi Araba Depression entwässernden, ständig oder zumindest über längere Monate fließenden Bäche der Widyan Feifa, Khuneizira, Fidan, Dana und Musa.

Der **Jordan** (Abb. 8) ändert seine Wasserführung stark mit der Jahreszeit und Entnahmemenge für die ausgedehnten angrenzenden Kulturen und hat somit auch Auswirkungen auf das zusätzliche Versorgungssystem des seit 1959 bestehenden, 69 km langen East Ghor-Kanales. Aufgrund der zusätzlichen Nutzung durch das israelitische National Water Carrier-Projekt und die Stauung der oberen Nebenflüsse des Yarmuks in Syrien verringerte sich die jährliche Durchflussmenge in den letzten 60 Jahren von 1250 Millionen m^3 auf 300 Millionen m^3 (KLEIN 1988), wodurch es auch zu deutlichen Absenkungen des Grundwasserspiegels kam und sich der Süßwasserzufluss in das Tote Meer weiter verringerte (DAN 1988). Der **Yarmuk** (Abb. 9), der knapp an der Ländergrenze zu Syrien und Israel in den Jordan mündet, verdoppelt dessen Wassermenge vor allem gegen Winterende. Im Februar steigt der Fluss stark an und entsendet eine gewaltige Flut in das Jordantal, doch schon ab März verringert sich die Wasserführung wieder. Im September sinkt sie auf ein Dreißigstel der Wassermenge zur Flutzeit (KONZELMANN 1990).

Während seines knapp 105 km langen Laufes bis zum Nordufer des Toten Meeres transportiert der Jordan große Salzmengen in das Tote Meer, einerseits ausgeschwemmte Düngesalze, andererseits in reichem Maße Brom aus fossilen Lagerstätten. BENDER (1968) hat das Gebiet als größte Bromprovinz der Erde bezeichnet und den Salzgehalt des Toten Meeres weitgehend auf die Lösungsfracht des Jordan zurückgeführt, der ja etwa 75 % des Oberflächenzuflusses umfasst. Nach jüngeren Untersuchungen wird diese Annahme allerdings angezweifelt (ATALLAH 1991). Unbestritten ist jedoch, dass die seit 1954 ständig erhöhte Wasserentnahme aus dem Jordan mittlerweile zu einem deutlichen Anstieg seines Salzgehaltes geführt hat.

Das **Wadi Wala** (Abb. 10), durchbricht nördlich des Wadi Mujib in seinem Mittellauf die Kreidesedimente in einer tiefen Schlucht. Während der trockenen Jahreszeit hinterlässt das Wadi hier nur einige wassergefüllte Becken als wichtige Rückzugsgebiete einer artenarmen Fisch- und Amphibienfauna, durchfließt streckenweise aber auch als Bach eine üppige Oleanderau.

Das **Wadi Mujib** (Abb. 11), nach dem Jordan Jordaniens größter Fluss mit ganzjährig wasserführenden Seitenarmen, ist ein mächtiger, bis zu 4 km breiter Durchbruchscanon von 400 m Tiefe, der sich aus dem Hochplateau durch weiche Kalke und Sandsteine zuletzt als enge Schlucht mit einem 20 m hohen Wasserfall bis 1200 m tief auf das Niveau des Toten Meeres hinab windet (Abb. 12, 13). Kürzlich wurde am Mittellauf des Wadis, wo die alte Königsstrasse das Flusstal durchquert, durch den Bau des Mujib-Dammes ein 20 Millionen m^3 fassendes Staubecken zur Speicherung der Winterniederschläge fertiggestellt (Abb. 14), welches vorrangig Amman, aber auch die Feldkulturen, Oliven- und Obstgärten der Bauern zukünftig mit reichen und gesicherten Wasservorräten beliefern soll. Diese Regulierung der Wasserführung verändert allerdings die Dynamik des Flusses grundlegend. Der bis-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 13: Der ungestüme Wildfluss in der Schlucht seines Unterlaufes – ein historisches Bild.

Abb. 14: Ein großes Staubecken „reguliert" nunmehr die Dynamik des Wadi Mujib.

her ungehinderte Wasserlauf wird dadurch zum Rinnsal oder sogar auf weiten Strecken und über längere Zeiträume trocken gelegt. Die von Experten der jordanischen RSCN (Royal Society for the Conservation of Nature) geäußerten Befürchtungen des Verlustes faunistischer Diversität der flussbegleitenden Flora und Fauna, insbesondere der Fischfauna, wird auf diese Weise sehr rasch Realität werden (JOHNSON 1996). Dieser Umstand ist umso bedauerlicher als der Unterlauf des Wadi Mujib einen wichtigen Teil des bedeutenden gleichnamigen Naturschutzgebietes (Mujib Reserve) darstellt.

Die Wassernutzung nimmt gegenwärtig von einigen, aus dem Randgebirge in das Tote Meer entwässernden Flussläufen ungehemmt Besitz und verwandelt diese vor der Einmündung in betonierte Bollwerke, welche die Süßwasserzufuhr für das Tote Meer einschränken. Ökonomie versus Ökologie – die Zukunft wird zeigen, ob solche radikalen Eingriffe in den Naturhaushalt sensibler Flusssysteme wirtschaftlich gewinnbringend, ökologisch vertretbar und nicht zuletzt auch im Sinne einer touristischen Frequenzsteigerung förderlich sind.

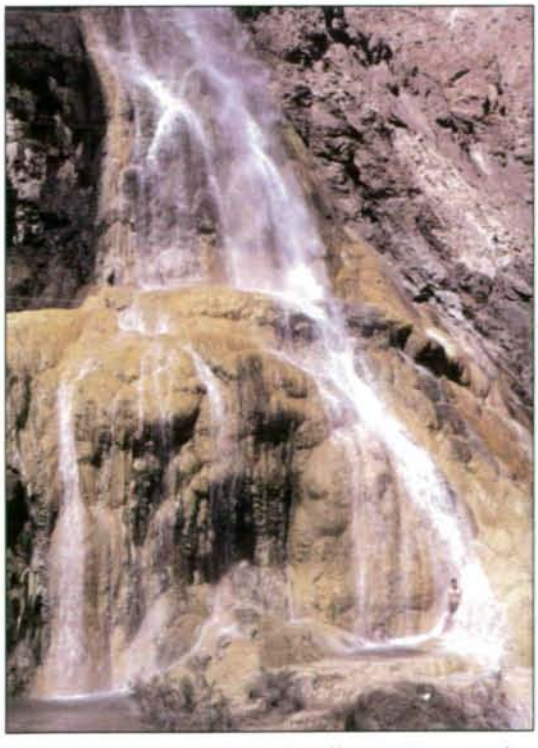

Abb. 15: Die Haupt-Thermalquelle von Zerqa Ma'in ergießt sich als mächtiger Sturzbach aus 45 m Höhe über Sinterterrassen in das Wadi Main. Man beachte die stehende Person rechts unten als Größenvergleich.

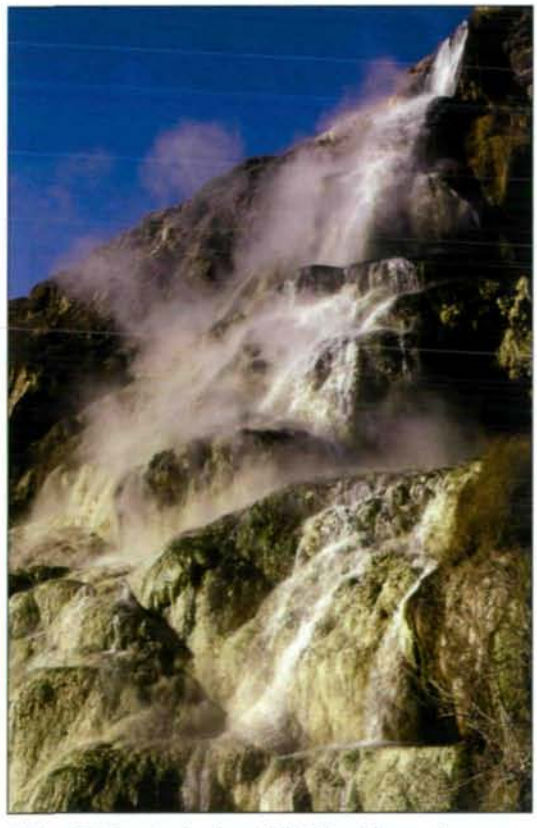

Abb. 16: Das stark schwefelhältige Thermalwasser tritt mit über 60°C an die Oberfläche.

Thermen und Mineralquellen

Die meisten Thermen und Mineralquellen Jordaniens sind an die Grabenzone zwischen dem Südende des Toten Meeres und dem See Tiberias gebunden, doch

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

finden sich zahlreiche unbedeutende Mineralquellaustritte oder trockene Travertinhorizonte und Kalksinterbänke als Zeichen früherer Quelltätigkeit bis in das nördliche Wadi Araba. Ihr Vorkommen steht in weitgehender räumlicher Beziehung zum mittelpleistozänen oder noch jüngerem basaltischen Vulkanismus und dem resultierenden, starken geothermischen Gradienten, der den Grabenbruch begleitet und für eine Erwärmung der Quellen sorgt (BENDER 1968). Wo dieser fehlt, wie etwa auf der Halbinsel Lisan (Südbecken des Toten Meeres) oder im südlichen Wadi Araba, gibt es keine Mineralwasseraustritte. Bereits in der Antike, insbesondere der römischen Periode, wurden die Thermen und warmen Quellen als Heilbäder genützt und gerühmt.

Im Norden Jordaniens liegen viele Thermen nahe der syrischen Grenze, wie z. B. „El Hamme" am Yarmuk (dem römischen Amatha) oder „Hammet Abu Dabli" 30 km südwestlich davon bei Tabaqat Fahl (dem römischen Pella). Weitere größere Thermen befinden sich am Unterlauf des Wadi Zarqa („El Machruk"), im Jordantal am Nordende des Toten Meeres („Ain el Hammam") und etwas südlich davon („Ain Suweimeh"). Insgesamt handelt es sich bei allen um Schwefelquellen oder kochsalzige Säuerlinge mit Temperaturen zwischen 34-48°C.

Das bedeutendste Thermalquellgebiet Jordaniens befindet sich im Tal von Hammamet Main, 25 km westlich von Madaba im Randgebirge des Grabenbruches zwischen rund +80 m über und –120 m unter NN. Etwa 50 kalte und heiße Quellen (SCHECK 1985), darunter auch zwei, 45 m hoch über eindrucksvolle bunte Sinterablagerungen abfließende schwefelhaltige Sturzbäche mit 58°C vereinigen sich zum Quell- und Thermengebiet von **„Zerqa Ma'in"**, dem antiken Baaras (Baaru) (Abb. 15, 16). Das System entspringt einer breiten tektonischen Störungszone zwischen pleistozänen Schottern und Schichten der Kreide bis Trias. 18 größere Thermen versorgen aus Quelltöpfen, Sinterspalten und direkt aus tiefen Klüften das Gebiet mit reichlichen Wasservorräten. Die Schüttung einzelner Quellen ist dabei beachtlich und beträgt bis zu 35 l/sec. Das Wasser tritt mit Temperaturen zwischen 40 und 63°C aus dem Untergrund. Für die Erwärmung des Wassers ist ein geothermisch aktiver Horizont pleistozäner oder jüngerer basaltischer Ergüsse in unmittelbarer Nähe verantwortlich. Auffällig ist die messbare Radioaktivität und die hohe Konzentration von Natrium und Schwefel, vor allem aber von Brom und Jod. Ihre Herkunft ist wahrscheinlich auf Einsickern von Wasser aus dem Toten Meer in die Sandsteinschichten des Untergrundes und den Transport durch das aufsteigende Mineralwasser entlang von Klüften zurückzuführen (BENDER 1968). Die meisten Quellaustritte liegen Hunderte Meter über dem Toten Meer, tiefer gelegene, alte Austrittsklüfte sind heute trocken. Dieser Umstand erklärt sich wahrscheinlich durch deren allmähliche Versinterung, weshalb immer höhere Austrittshorizonte aktiviert werden. Über das Wadi Main fließen die Quellwässer schließlich direkt in das Tote Meer.

Die **„Thermen von Zara"** (dem antiken Kallirhoë) in Ufernähe des Toten Meeres, etwas südlich der Mündung des Wadi Main, entspringen aus mächtigen Kalksinterdecken und Sandsteinhorizonten der Unterkreide an der Südseite jenes 2 km breiten Basaltergusses, welcher auch den Temperaturhaushalt der nördlicher gelegenen heißen Quellen von Zerqa Ma'in gewährleistet. Das bis zu 44°C warme Wasser ist reich an Schwefel und Hydrogencarbonat (LACHMANN 1933, zit. in BENDER 1968). Bereits König Herodes hat sich hier mehrfacher Kurbehandlungen unterzogen (SCHECK 1985).

Abschließend sei noch auf die Schwefelquelle von „Hammam el Moghara", rund 35 km südlich von Zara und den kochsalzigen Eisensäuerling „Ain Sbeh" hingewiesen.

Das Tote Meer

Das Tote Meer liegt im zentralen Teil der Wadi Araba-Jordantal-Depression und bildet auf seinem Grund, fast 800 m unter dem Meeresspiegel, den tiefsten Punkt der Erdoberfläche. Mit einer Konzentration von 31,5 % (ATALLAH 1991) bzw. wohl eher schon 34 % (OREN & VENTOSA 1999) ist es auch das salzreichste Oberflächengewässer der Erde (Abb. 17). Das Einzugsgebiet umfasst an die 40.000 km³ (BENDER 1968). Hinsichtlich der Darstellung seiner Entste-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 17: Steil bricht das Randgebirge zum Ufer des Toten Meeres ab. Dicke Salzkrusten überziehen die Ufersteine mit einer blendend weißen Hülle.

Abb. 18: Das flache Südbecken des Toten Meeres trocknet allmählich aus. Dicke, weiße Salzschollen bedecken die Wasserfläche, nur der wind- und wellenbewegte Ufersaum ist noch frei. Foto: C. Wurth

hungsgeschichte sei auf Kap. Geologie/Paläogeographie verwiesen.

Das Tote Meer besteht aus einem nördlichen und südlichen abflusslosen Becken, welche durch die Halbinsel el-Lisan getrennt werden. In den 1960er Jahren (BENDER 1968, um 1950 nach TELLER 2002) maß das Tote Meer rund 80 km in der Länge, in der Breite maximal 17,5 km, verfügte über eine Oberfläche von über 1000 km² und einem Gesamtvolumen von 143 km³. Die maximale Wassertiefe erreichte um 1960 im Nordbecken 400 m, während im Südbecken 11 m nicht unterschritten wurden. Der Wasserspiegel lag früher über lange Zeit bei -396 m NN (BENDER 1968). Infolge erhöhter Verdunstungsprozesse durch die allgemeine Klimaerwärmung, die Verringerung der Zuflüsse in niederschlagsarmen Wintern und Wasserableitung aus dem Jordan und anderen großen Wadis zu Bewässerungszwecken und zur Versorgung von Hotelanlagen, schrumpfte das Tote Meer in den letzten Jahrzehnten gewaltig. Seine gegenwärtige Oberfläche beträgt bereits unter 700 km² und verringert sich laufend. Früher gelangten alleine über den Jordan als wichtigsten Süßwasserzubringer jährlich 1,2 Milliarden m³ Wasser in das Tote Meer, jetzt nur 300 Millionen m³ (SCHIFFLER 1993). Diese Angaben entsprechen bei TELLER (2002) 1,5 Milliarden m³ gegenüber 500 Millionen m³. Vier Dämme über den Jordan und drei Pumpstationen begrenzen den Frischwasserzulauf erheblich, weitere 12 (!) Dämme und acht Pumpstationen an anderen Flussläufen sind in Planung (TELLER 2002). Zwischen 1928 und 1988 ist sein Wasserspiegel von -390 auf -407 m abgesunken (KLEIN 1988) und liegt heute bereits bei -416 m unter NN (ORF 2004), das entspricht einer Absenkung von 26 m! Nach SCHIFFLER (1993) jedoch hat sich diese jedoch über eine viel kürzere Zeitspanne von nur 30 Jahren (etwa 1962-1992) vollzogen. Die ehemalige Verbindung zwischen dem Nord- und Südbecken, Lynch's Strait, ist bereits 1970 ausgetrocknet, wodurch beide Wasserkörper seither getrennt sind. Die Halbinsel Lisan – früher eine in das Tote Meer vorragende schmale Landzunge aus mergeligen Sedimenten des pleistozänen Lisan-Sees – wurde dadurch zu einer breiten Landbrücke. Auf den bevorstehenden Trockenfall des 1991 nur mehr 6 m seichten Südbeckens hat bereits ATALLAH (1991) hingewiesen. Hier ist die Konzentration bereits so hoch, dass sich das Salz kaum noch auflöst, sondern bereits weite Flächen des flachen Wasserkörpers als schwimmende Kruste bedeckt (Abb. 18). Da der Wasserspiegel derzeit jährlich um einen Meter sinkt, rechnen Experten mit einem Rückgang von 50-150 m innerhalb der kommenden 50 Jahre! Dieser Vorgang wirkt sich bereits jetzt problematisch aus, da bei einer weiteren Absenkung des Wasserspiegels weniger salziges Grundwasser in den salzgetränkten Boden eindringen und die Salzhorizonte auflösen wird. Dadurch muss es im Untergrund zu einbruchge-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

fährdeten Hohlräumen kommen, welche auch den Einsturz der oberflächennahen Bodenschichten bewirken werden. Bereits seit 10 Jahren zählt man auf israelischem Gebiet am Südufer die bis zu 20 m tiefen und 40 m langen Einbruchskrater und hat bereits 2000 registriert – Tendenz steigend. Als Präventivmaßnahme gegen ein weiteres Schrumpfen des Wasserkörpers war vorübergehend als länderübergreifendes Monsterprojekt der Bau eines schiffbaren Kanals vom Golf von Aqaba in das Südbecken vorgesehen (Länge 200 km, Höhendifferenz über 400 m, zahlreiche Schleusen), welches mittlerweile aufgrund finanziell, technisch und ökologisch kaum lösbarer Probleme endgültig gefallen ist. Die geschätzten Gesamtkosten von 8 Milliarden US $ schieben diesem Unterfangen glücklicherweise einen Riegel vor (ORF 2004).

Hier muss aber auch erwähnt werden, dass der Wasserstand des Toten Meeres – abgesehen von den eben genannten Faktoren – immer wieder auch durch tektonische Aktivitäten im Untergrund des Grabenbruches Schwankungen unterworfen ist. So wurde im 19. Jahrhundert ein unerklärlicher Anstieg um über 14 m registriert, während zwischen 1900 und 1935 ein Abfall um 5 m und von 1962 bis 1965 ein Rückgang um weitere 4 m festgestellt wurde – trotz damals noch unbehindertem Zufluss über die Wadis und den Jordan (FISHER 1978).

Die Menge gelöster Salze des Toten Meeres beträgt gegenwärtig 54,9 Milliarden t und wird durch die ständige Verdunstung noch weiter ansteigen (ATALLAH 1991). Die gelöste Salzmenge lässt unter Einschluss der bereits sedimentierten Salzlager und aller potenziellen Salzzubringer über Flüsse und Quellen die Berechnung des wahrscheinlichen Alters des Toten Meeres zu, welches zumindest 12.000 Jahre beträgt (BENTOR 1961). Die Mineralsalze des Toten Meeres werden in großen Salzgärten des Südbeckens durch Verdunstung des Wassers gewonnen, medizinisch (medizinisch-therapeutische Kurmöglichkeiten in den Dead Sea Hotels unter anderem gegen Schuppenflechte und andere Hauterkrankungen), kosmetisch („Dead Sea Products") und wirtschaftlich intensiv genutzt und in der „Potash City" nördlich von As Safi südlich des Toten Meeres marktfertig verarbeitet (s. Kap. Geologie/Rohstoffe). Nach BENDER (1968) beträgt allein derAnteil abbaubarer Na-Salze 2 Milliarden t. Die Zusammensetzung der chemischen Komponenten im Seewasser ist seit langer Zeit bekannt und wurde immer wieder untersucht, da die erhöhte Salinität der letzten Jahrzehnte deutliche Verschiebungen der Mengenverhältnisse ausgelöst hat (FRIEDMANN 1911, NOVOMEYSKY 1936, CHEMICAL CONSTR. CORP. 1954, BENTOR 1961, BENDER 1968, GAVRIELI et al. 1998).

Die extreme Konzentration ist für den starken Auftrieb, das hohe spezifische Gewicht des Wassers und den eingeschränkten Austausch zwischen oberflächennahem und Wasser der 0_2-freien, tieferen Schichten verantwortlich. Nicht zuletzt durch die erwähnte hohe Brom-Fracht des Jordan ist der Bromgehalt des Toten Meeres mit fast 6000 mg/l höher als in allen anderen Oberflächengewässern (BENDER 1968). Mengenmäßig überwiegen Magnesiumchlorid, $MgCl_2$, (52 %) und Kochsalz, NaCl, (28 %). Neben der hohen Konzentration fällt die ungewöhnliche Zusammensetzung des Salzgehaltes auf. Es handelt sich um ein Chlorid-Wasser mit sehr geringen Sulfat- und Karbonatgehalten. Der für ein Oberflächengewässer außergewöhnlich hohe Kalzium-Anteil ist vorwiegend als Chlorid gebunden (BENDER 1968).

Die hydrochemische Sensibilität des Toten Meeres ist bemerkenswert. Als VOLCANI knapp vor 1940 seine ersten mikrobiologischen Studien durchführte, war die Salzkonzentration des Wassers weitaus niedriger als heute und betrug an der Oberfläche 269 g/l mit allmählicher Zunahme auf 327 g/l in 50 m Tiefe. Damals entsprach das Tote Meer dem Typus eines meromiktischen Sees mit einer Durchmischungszone des oberflächennahen Wasserkörpers bis etwa 40 m Tiefe. Diese Daten sind jedoch historisch, da sich der Wasserchemismus ab 1979 aus den voran genannten Gründen stark verändert und die gesamte Wasserbilanz negativ beinflusst hat. Die Salzkonzentration beträgt nunmehr 340 g/l in allen Tiefen und das Tote Meer entspricht daher dem Typus eines holomiktischen Sees mit einem gänzlich durchmischten Wasserkörper; lediglich starker Süßwassereintrag durch ungewöhnlich star-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

ke Winterniederschläge zwischen 1979 und 1982 sowie von 1992-1995 konnten das System vorübergehend wieder umkehren. Die Folge der negativen Bilanz ist bereits im seichten Uferwasser an der starken Ausfällung von Natriumchlorid in Form von Halit-Kristallen feststellbar, die den Seeboden großflächig als massive, unlösliche Sedimente bedecken. Das Gewicht der zwischen 1976 und 1992 gebildeten Halitmenge wird auf etwa 2550 x 10^6 t geschätzt (GAVRIELI 1997). Als Nebeneffekt der Halit-Bildung ist ein weiterer Anstieg des ohnehin bereits extremen Verhältnisses zwischen zwei- und einwertigen Kationen zu verzeichnen.

Der überaus hohe Salzgehalt unterbindet jegliche Form höheren Lebens. Vereinzelte Indivduen des Salinenkärpflings, *Aphanius dispar* (Cyprinodontidae), welche aus zuführenden Bächen versehentlich ins Tote Meer gelangen, erleiden einen sofortigen Tod durch Entzug der Zellflüssigkeit (Dehydrierung). Unter den höheren Pflanzen behaupten sich nur wenige salztolerante Arten, wie Tamarisken, Schilf und verschiedene Gänsefußgewächse (Chenopodiaceen) bevorzugt entlang von zuführenden Quellbächen oder Rinnsalen mit geringerem Salzgehalt oder im Bereich höherer Strandterrassen.

Dennoch ist das Tote Meer erstaunlicherweise nicht ganz ohne Leben. Der israelische Mikrobiologe VOLCANI hat sich jahrzehntelang erfolgreich mit der Aufklärung biochemischer Vorgänge innerhalb der mikrobiellen Lebensgemeinschaften im freien Wasser und im Bodengrund beschäftigt und gilt als wichtiger Pionier bei der Erforschung des Toten Meeres (ELAZARI-VOLCANI 1940, 1943, 1944, VOLCANI 1944). VOLCANI hat 1944 im oberflächennahen Wasser neben einer extrem halophilen, unbekannten, grünen flagellaten Alge, welche sogar bei 30% Salzgehalt noch schwaches Wachstum zeigt, auch die weniger salztolerante eukaryonte flagellate Grünalge *Dunaliella* sp. (früher als *D. parva* oder *D. viridis* bezeichnet) als einzigen Primärproduzenten entdeckt. Die Wachstumsdynamik von *Dunaliella* ist vom Salzgehalt des Gewässers abhängig. Sinkt dieser – etwa durch verstärkten Süßwassereintrag in sehr niederschlagsreichen Wintern (wie 1979/80 oder 1991/92) – so vermehrt sie sich in den vorübergehend bis über 10 % ausgesüßten obersten Wasserschichten explosionsartig und erreicht dann in höchsten Dichte-Konzentrationen bis zu 4 x 10^4 Individuen/ml Seewasser („high chlorophyll maximum"). Ein erneuter Anstieg der Salzkonzentration im Sommer trockener Jahre beendet die Algenblüte, die Algenzellen bilden Ruhestadien in Form von Cysten aus, die auf den Gewässerboden sinken (OREN et al. 1995) (Anmerkung: wie sie jedoch von dort bei völliger Lichtlosigkeit wieder an die Oberfläche steigen können, erläutert die Fachliteratur nicht). Die hohe biochemische und physiologische Anpassungsfähigkeit an das lebensfeindliche Milieu und die vom Salzgehalt gesteuerte Populationsdynamik wurde durch FRANK & WEGMANN (1974), OREN & SHILO (1982), WEGMANN (1982) sowie OREN et al. (1995) gründlich untersucht. Nebenbei sei angemerkt, dass *Dunaliella*-Arten (z.B. *Dunaliella salina*) generell saline bis hypersaline Gewässer besiedeln – etwa in Australien oder den USA – und wegen ihres überaus hohen Gehaltes von bis zu 30 verschiedenen Carotonoiden in der modernen Kosmetik als Grundsubstanz für Bräunungsmittel und Sonnenschutzcremes dienen (INTERNET 2004).

Außer dieser außergewöhnlichen Alge hat ELAZARI-VOLCANI resp.VOLCANI (beide Namen werden in der wissenschaftlichen Literatur für den selben Wissenschaftler verwendet) aus der Salzlake bzw. dem Bodenschlamm des Toten Meeres auch verschiedene Cyano- und Archaeobakterien extrahiert. Wie *Dunaliella*, leben diese zwar nieder organisierten, biochemisch jedoch hoch spezialisierten Mikroorganismen nicht nur im salzigsten Gewässer der Erde sondern zusätzlich kapp an der oberen Toleranzgrenze gegenüber der hohen Konzentration zweiwertiger Kationen, insbesondere von Magnesium (OREN 1983). Sie stehen in einer engen wechselseitigen Beziehung, in die auch die Algen eingebunden sind. An höchste Salzkonzentrationen angepasst ist eine Gruppe rot gefärbter Cyanobakterien, wie *Haloarcula marismortui*. Diese beginnt sich erst ab 18 %-iger Kochsalzlösung zu entwickeln und ist selbst bei gesättigter Lösung noch lebensfähig (VOLCANI 1944). Weitere, neu entdeckte Archaeobakterien, wie etwa *Haloferax volcanii* (MULLAKHANB-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

HAI & LARSEN 1975) belegen, dass die Diversität dieser Mikroorgansimen im Toten Meer erst ungenügend bekannt ist.

Archaeobakterien können sich unter günstigen Umständen explosionsartig vermehren. Die bisher größten gemessenen Dichten im oberflächennahen Wasser lagen bei 3,5 x 10^7 Zellen/ml (OREN & GUREVICH 1993, 1995). Solche Konzentrationen sind an eine gleichzeitige Massenentwicklung von *Dunaliella* gebunden. Die Algen produzieren und speichern nämlich Glycerol als osmotischen Stabilisator, welches vermutlich zugleich eine wichtige Kohlenstoffquelle für die Entwicklung der Archaeobakterien-Gemeinschaft darstellt, die sich von den Algen ernährt. Die an Karotinoiden reichen Algen- und Archaeobakterien-Blüte verleiht dem Wasser bei einem derartigen Massenvorkommen einen rosa-rötlichen Farbton, zuletzt 1992.

Unter den halophilen aeroben Bakterien der oberen Wasserschichten seien hier neben *Pseudomonas halestorgus* (VOLCANI 1944) die von VOLCANI neu entdeckten *Chromohalobacter marismortui* (VENTOSA et al. 1989) und *Halomonas halmophila* (DOBSON et al. 1990) genannt. Anaerobe, halophile Bakterien, die sich durch Fermentation von Trauben- oder Milchzucker oder durch Denitrifikation (Freisetzung von Stickstoff) ernähren, besiedeln das Bodensediment. Neben anderen Bakterien wurden aus der Gruppe der Haloanaerobiales etwa die Arten *Halobacteroides halobius* (OREN et al. 1984), *Orenia marismortui* und *Sporohalobacter lortetii* (RAINEY et al. 1995) im Bodenschlamm nachgewiesen.

Als tierische Besiedler der hypersalinen Schwefelquelle von Hamei Mazor auf der israelischen Seite des Toten Meeres mit 169 g Salz/l wurden zwei Protozoen bekannt – eine Ciliatenart und eine Dimastigamöbe (OREN 1989). Im Toten Meer selbst kommen sie aber nicht vor (siehe auch ELAZARI-VOLCANI 1953).

Die Wasserversorgung und Feuchtgebiete der Oase Azraq

Die Depression von El-Azraq liegt 115 km nordöstlich der Hauptstadt Amman auf dem tertiären Plateau der Syrischen Wüste, welche sich bis in den Irak und nach Saudi Arabien erstreckt. Hier treffen Kalke der Oberkreide und des frühen Tertiär mit jüngeren (miozänen) Basaltdecken des Jebel ed-Druze in Südsyrien – einem riesigen, tertiären Vulkangebiet – großflächig aufeinander. In Hinblick auf die Landesgrenzen liegt Azraq im Zentrum der Ostjordanischen Wüste („Badia") am Nordende des Wadi Sirhan (vgl. Kap. Geologie/Basaltdecken Nordjordaniens).

Östlich davon breitet sich eine etwa 70 km² große, tonige Regenpfanne, der – **Qa'a el Azraq** – aus (CLARKE 1979). Regenwasser aus einem System von insgesamt 10 Wadis, darunter dem großen Wadi Sirhan aus Südosten und dem Wadi Rajil von Norden aus dem syrischen Wüstenplateau, füllt in niederschlagsreichen Wintern zwischen Dezember und März die weite Depression und bedeckt den Qa'a – oft über einen Meter hoch – mit einer geschlossenen Wasserfläche von gut 50 km² (TELLER 2002) (Abb. 19). Bemerkenswert ist allerdings, dass dieses enorme Volumen kaum einer wirtschaftlichen Verwertung zugeführt wird – sei es durch Reservoirs oder Einspeisung in den Grundwasserhorizont. Noch vor dem Sommer ist der Qa'a infolge steigender Temperaturen bis 35/38°C und zunehmender Evaporation jedoch wieder völlig ausgetrocknet (DUTTON 1998) (Abb. 20). Der ständige Wind wirbelt dann häufig siltige Feinsedimente und Salzstaub als Windhosen aus der Depression durch die Luft.

Die winterliche Seefläche um Azraq stellt das einzige große Feuchtgebiet der Wüste zwischen dem Jordan und dem Euphrat-Tigris Gebiet dar und liegt auf der Zugstrecke zahlreicher Vogelarten zwischen Afrika und Eurasien, die hier z. T. auch überwintern. Über 300 registrierte Arten (NELSON 1973) machen die Feuchtgebiete von Azraq zu einem überaus bedeutsamen Schutzgebiet. Im außergewöhnlichen Jahr 1967 besiedelten über 580.000 Wasservögel verschiedener Arten und Tausende Wasserfrösche den vollen Qa'a (TELLER 2002) (vgl. Kap. Fauna/Vogelzug und Süßwasserfauna). Von Bedeutung sind die Wasserflächen auch für eine spezialisierte Fauna, wie den Urzeitkrebs *Triops cancriformis* oder salztolerante Fische, wie den endemischen Salinenkär-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 19: Im Winter füllt sich weite die Tonpfanne des Qa'a von Azraq für einige Wochen lang mit dem Niederschlagswasser eines Einzugsgebietes, welches bis nach Syrien reicht.

Abb. 20: Im Sommer beherrschen salztolerante Chenopodiaceen, z. B. *Salsola tetrandra* den Qa'a. Infolge der ungünstigen Lebensbedingungen ist die Vegetation jedoch stark aufgelockert.

pfling, *Aphanius sirhani* (vgl. Kap. Fauna/Süßwasserfauna). Nicht minder bemerkenswert ist die mit 360 Arten unerwartet hohe Diversität der Vegetation (El-Eisawi 1985) (vgl. Kap. Vegetation). Sie ergibt sich als typisches Phänomen der Vegetations-Konzentration in ariden Gebieten bei günstiger lokaler Wasserverfügbarkeit. Vergleichsweise niedrig dazu ist die von El-Eisawi 1992 im gesamten Gebiet des Badia Forschungsprojektes im Nordwesten Jordaniens auf über 11.000 km² – das entspricht 14 % der Landesfläche – registrierte Zahl von 223 Pflanzenarten (Cope & El-Eisawi 1998). Verschiedene Forschungsprojekte, wie das ausführliche von Boyd (1967) geleitete oder im Rahmen des „Jordan Badia Research and Development Programme (BRDP)" (Dutton 1998), haben sich mit der Hydrologie dieses außergewöhnlichen Ökosystems und der Ökologie seines weiteren Umfeldes intensiv befasst.

Bei Wasserbedeckung werden aus einem oberflächennahen Salzhorizont große Salzmengen gelöst, die während der langen Trockenphase dicke Krusten bilden. Bis zur Gründung einer lokalen Kooperative im Jahr 1973, wurde das Rohsalz 50 Jahre lang in Familienbetrieben abgebaut. Seit 1987 erfolgt die Salzverwertung durch eine moderne Raffinerieanlage, welche das Monopol der Speisesalzproduktion für ganz Jordanien übernommen hat (Matthews & Henry 1987).

Die eigentliche Bedeutung von Azraq liegt in seinen (ehemaligen) reichen Wasservorräten durch **artesische Quellen.** Sie sind Voraussetzungen für die Existenz einer Oase mit dauerhafter Besiedelung in einem Gebiet, in dem die Evaporationsrate 30 mal höher ist als der jährliche Niederschlag (Dutton 1998), ohne den Einfluss feuchter westlicher Winde aus dem Mittelmeerraum.

Gespeist von einem hydrologischen System aus dem Umland des Jebel Druze (Winter 1990) (Abb. 21), entspringen 5 artesische Quellen mit starker Schüttung im Zentrum und Nahbereich der Ortschaft Azraq (das arabische Wort „azraq" bedeutet „blau"). Diese bilden verschiedene offene Quellteiche in ihrer näheren und Salzsümpfe in der weiteren Umgebung. Das Quellgebiet von Azraq war immer schon ein „hot spot" reichen Lebens inmitten der weiten, wasserleeren Steinwüste. Die Spuren der steinzeitlichen Jägerkulturen lassen sich hier 200.000 Jahre lang zurückverfolgen. In der Antike siedelten in Azraq griechische und römische Bauern und das um 200 n. Chr. errichtete Kastell kontrollierte die lebenswichtigen Quellen (Scheck 1987) (Abb. 22).

Jordanien wird großräumig von drei stockwerkartig angeordneten Wasserleitungskomplexen unterlagert – einem oberen, mittleren und unteren, die sich auch bis unter das Gebiet der nordöstlichen Wüste (Badia area) erstrecken. Der oberste, bedeu-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

tende (Aquifer) liegt – regional etwas unterschiedlich – in einer Tiefe zwischen 100-200 m und setzt sich aus drei (Azraq) oder vier Schichten (Wadi Sirhan) zusammen. Die oberste, nur lokal im Sirhan-Becken entwickelte, 40 bis über 200 m mächtige Sedimentlage wird von alluvialen Ablagerungen eines einstigen Brackwassersees gebildet. Darunter (bzw. im Azraq-Gebiet an der Oberfläche) lagert eine bis zu 500 m dicke Basaltdecke des Neogens und Quartärs, welche Basalt- und Lavaergüsse, pyroklastische Sedimente, Basalt- und Tuffvulkane umfasst. Ihr Alter wird zwischen 13,7 und 0,5 Millionen Jahren eingeschätzt, ihrer Herkunft nach sind sie dem Jebel ed-Drouze-Basaltgebiet des südlichen Hauran in Syrien zuzuordnen. Die Basalte bilden mit den übrigen vulkanischen Extrusionsgesteinen jedoch keine kompakte Decke sondern weisen Störungszonen mit Rissen und Spalten auf, die als Wasserleitungssystem dienen. Die unterste Aquiferschicht ist zwischen 100 und 200 m mächtig und besteht vorwiegend aus jungtertiären mergeligen Kalken, aber auch Sandstein, Schotter und Konglomeraten mit lokalen Phosphat- und Bitumeneinschlüssen (HAALAND 1998).

Der oberste Aquifer versorgt (richtiger muss es heißen „versorgte", wie nachfolgend erklärt wird) das Azraq-Becken mit mehreren Quellteichen als natürliche Auslässe. Die wasserführenden Schichten befinden sich auf syrischem Raum in über 350 m Tiefe und steigen gegen das Azraq-Becken gegen -100 m an. Die gut durchlässigen kalkigen, mergeligen oder sandigen Aquiferschichten leiten das Wasser mit 0,1-5 m/Tag, im Basaltkörper variert die Wasserleitung zwischen 340 m/Tag in Störungsbereichen und 2 m/Tag bei dichter Lagerung der Basalte. (HAALAND 1998). Das Einzugsgebiet schließt die Druze-Quellen ein, die über unterirdische Zubringer aus dem Jebel ed-Druze Gebiet im Norden versorgt werden, wie auch die Quellen von Azraq Shisham im Süden. Das Wasser von Azraq hat gute Trinkwasserqualität, seine Salinität beträgt nur zwischen 190 und 400 mg/l, lediglich im Bereich der Tonpfanne, des Qa'a von Azraq, steigt sie bei oberflächennahem Grundwasserspiegel durch kapillaren Hub auf 308 g NaCl/l an (DRURY 1998). Generell jedoch weist das Wasser gegen den Osten der Badia zu einen ansteigenden Brackwassercharakter mit Konzentrationen zwischen 600 und 3300 mg Salz/l auf. Bedingt durch den heterogenen Mineralgehalt der Aquiferschichten auf kurzer Strecke, variiert demnach auch der Salzgehalt lokal sehr stark. Dominante Kationen sind Natrium und Calcium, als wichtigstes Anion tritt Chlorid auf (HAALAND 1998).

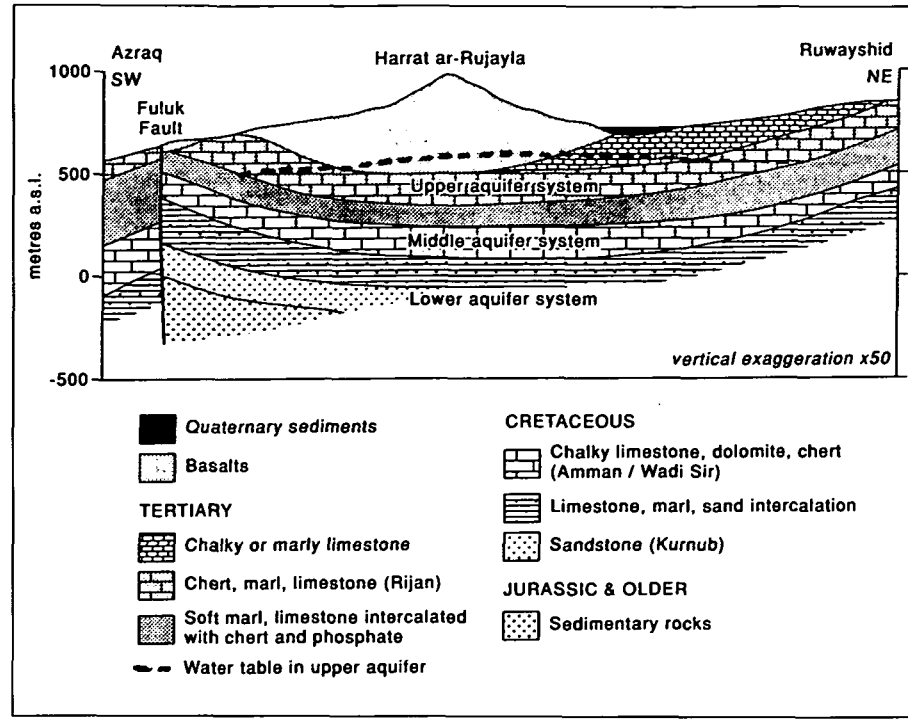

Abb. 21: Schema des Aquifersystems der artesischen Quellaustritte von Azraq (nach ALLISON et al. 1998).

Die hydrologischen Verhältnisse des tiefer gelegenen mittleren Aquifers wurden in den letzten Jahren ebenfalls erforscht. Sein geologischer Aufbau besteht aus Kreidekalken mit unterschiedlicher Förderung und Wasserqualität zwischen 300 und 1000 m Tiefe. Der unterste Aquifer ist weniger gut bekannt, er wird von Sandsteinen der Kreide und älterer Perioden gebildet (Disi-Formation) und liegt in 1,3-3,4 km Tiefe (DOTTRIDGE & GIBBS 1998). Die Aquifere stehen durch horizontalen, vertikalen Wasseraustausch und hydraulische Komponenten in gegenseitiger Verbindung.

Die Dauer des unterirdische Weges, den das Wassers im komplexen hydrologischen System des oberen Aquifers bis in die Quellbecken von Azraq benötigt, ist nicht genau bekannt. Die Angaben schwanken zwischen 10 und 50 Jahren (BOYD 1967, MATTHEWS & HENRY 1987). Vermutlich rein fossiler Herkunft sind die Wasservorräte des mittleren und unteren Aquifers (ALLISON et al. 1998).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 22: Das aus Basaltsteinen erbaute Kastell von Azraq wachte bereits in der Antike über die artesischen Quellbecken in der Weite der östlichen Wüste.

Abb. 23: Riesige, mit fossilem Wasser beregnete Kreisfelder beherrschen die Wüste des östlichen Wadi Rum bei Disi.

Einer schweren Gefährdung sieht sich die Oase allerdings seit Jahrzehnten durch das massive Abpumpen von Trinkwasser nach Mafraq und Amman ausgesetzt (DAY 1994), wodurch der Grundwasserspiegel seit 1980 beträchtlich gesunken ist (WINTER 1990). Trotz verschiedener Maßnahmen droht dadurch mittelfristig die Austrocknung der Oase und schlimmstenfalls der Verlust der Lebensgrundlage für die ortsansässige Bevölkerung (TELLER 2002) (vgl. Kap. Wasservorräte).

Grundwasser

Neben verschiedenen, regional wichtigen Grundwasserleitern stellen vor allem die Kalke der Oberkreide mit einer Dicke von ca. 250-300 m den wichtigsten Grundwasserleiter (Aquifer) Jordaniens dar (BENDER et al. 1991). Eine 400 m mächtige Sequenz fast wasserundurchlässiger Mergel trennt sie vom tiefer gelagerten Aquifer, dem „nubischen" Sandstein, der sich aus zahlreiche Schichtfolgen vom Altpaläozoikum (Kambrium) bis zum oberen Mesozoikum (Unterkreide) zusammensetzt. Beide Wasserleiter fallen vom Grabenrand, wo sie durch tektonische Hebungsvorgänge der Vergangenheit angeschnitten sind, flach nach Osten ein. Vor allem ersterer leitet das in dieser niederschlagsreicheren Gegend eingespeiste Wasser bis in die zentralen Wüstengebiete Ostjordaniens. Dort kann z. T. Wasser aus dem Kreide-Wasserleiter langsam durch die stauenden Schichten zum Sandstein-Wasserleiter sickern, wieder nach Westen geleitet werden und am Grabenrand als Quellen oder Grundwasserstrom austreten (SALAMEH 1991). Die Lockersedimente der quartären Schwemmfächer größerer Wadiaustritte aus dem östlichen Randgebirge führen z. T. oberflächennahes Grundwasser, welches sich entlang der vom Abtragungsmaterial überlagerten Gesteinsschichten staut. Ihnen kommt als Grundwasserleiter im Wadi Araba große Bedeutung zu, worauf bereits BENDER (1974) hingewiesen hat. Derzeit erfolgt noch keine Nutzung dieser wertvollen Langzeitressourcen, doch haben die Untersuchungen von AL-FARAJAT (2002) über den Graben-Aquifer bereits gezeigt, dass eine Neubildung seiner Reserven nur in niederschlagreichen Jahren erfolgt.

Der Sandsteinwasserleiter – insbesondere in der altpaläozoischen Schichtenfolge – ist aufgrund des größeren Porenvolumens und seiner Dicke von ca. 1000 m die wasserreichste Zone in diesem System, wird aber in Zentraljordanien wegen seiner tiefen Lage und des erforderlichen hohen technischen Aufwandes für das Pumpensystem derzeit nicht genutzt.

Über die Zahl, räumliche Verteilung der Grundwasserprovinzen und die Fließrichtungen der Grundwasserströme herrschte lange Zeit Unklarheit. Nunmehr ist jedoch bekannt, dass 12 weitreichende Becken die Landesfläche unterlagern (VIERHUFF 1991, ALLISON et al. 1998) (Abb. 23).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die geringen Niederschlagsmengen in den ariden Landesteilen Ostjordaniens zwischen 250 mm im Nordwesten und 50 mm im Süden sowie die Größe des Einspeisungsgebietes lässt die berechtigte Annahme zu, dass ein Großteil des Grundwassers der „Badia" „fossilen" Ursprungs ist. War SCHIFFLER (1993) noch der Meinung, dass der Grundwasserkörper nur 10.000 Jahre alt sei, so bestätigen Messungen mit der ^{14}C-Methode ein tatsächliches Alter von 12.000-25.000 Jahren und datieren ihn in die letzten regenreichen Perioden (Pluvial) der Erdgeschichte am Ende des Pleistozäns (DRURY 1993). Die flachen tektonischen Einmuldungen bzw. sedimentär aufgefüllten Becken der Wadi Sirhan-Azraq- und El Jafr-Depressionen sind solche wichtigen Speicherhorizonte für große Grundwasserreserven in der östlichen Wüste. Vorwiegend fossilen Ursprungs ist auch das Grundwasser des „Disi-Aquifers" in der vollariden südjordanische Sandsteinwüste, welcher von den Einspeisungsgebieten im Westen nicht mehr versorgt wird. Das Wasser ist hier in Sandsteinkörpern des unteren Mesozoikums und Paläozoikums gespeichert. (ALLISON et al. 1998).

Wasservorräte, Zukunftstrends

Nutzung des Wasserpotenzials

Der Wasserverbrauch Jordaniens resultiert aus dem häuslichen und industriellen Bedarf sowie aus der Bewässerungslandwirtschaft.

Haushalt und Industrie verbrauchten nach Angaben des NATIONAL ATLAS OF JORDAN bereits 1986 jährlich etwa 190 MCM (Megakubikmeter), vorwiegend aus dem Grundwasser, was einem sehr niedrigen Standard der Wasserversorgung entspricht. Die Bewässerungslandwirtschaft verbrauchte damals 405 MCM/Jahr, wobei 230 MCM aus Flüssen, 100 MCM aus dem Grundwasser und 75 MCM aus Quellen entnommen wurden.

Trotz fehlender aktueller Verbrauchszahlen kann mit Sicherheit angenommen werden, dass der Wasserbedarf seither stark angestiegen ist. Die Wasservorräte sind knapp, die Verfügbarkeit des Grundwassers ist begrenzt, größere Wasserläufe wie der Jordan und der Yarmouk müssen mit den Nachbarstaaten geteilt werden. Gegenwärtig beträgt der Wasserverbrauch alleine nur beim Grundwasser jährlich 940 Millionen m^3, wovon 16 Millionen m^3 für industrielle Zwecke, 139 Millionen m^3 für den Haushaltsverbrauch verwendet werden, aber 785 Millionen m^3 für den laufend anwachsenden agrarwirtschaftlichen Bereich (ALLISON et al. 1998).

Jordanien kann jedem seiner Einwohner pro Jahr nur 260 m^3 Frischwasser bieten, dessen Knappheit besonders dann deutlich wird, wenn man sie in Relation zu den von jedem US-Bürger im Jahr verbrauchten 10.000 m^3 stellt (VESILIND 1993). Damit reiht sich Jordanien in die untere Kategorie vieler Länder des saharisch-arabischen Raumes mit minimaler Wasserversorgung ein, die pro Person und Jahr weniger als 1700 m^3 beträgt (GLEICK 2001).

Jordanien zählt zu den Ländern mit sehr hoher Geburtenrate. Innerhalb der vergangenen 40 Jahre hat sich die Bevölkerung vervierfacht und nimmt jährlich um 4,4 % zu (STATISTISCHES BUNDESAMT 1996), die Angabe von 2,4 % durch TONDOK (2001) scheint zu niedrig. Zur Lösung der anstehenden und sich zukünftig verschärfenden Wasserproblematik gab es vielfache Ansätze – wie etwa das unfinanzierbare 1-Milliarden US-$ Projekt zur Errichtung einer Wasserleitung vom Euphrat nach Amman (DAY 1994).

Azraq – der langsame Tod einer Oase

Die Wasserschüttung früherer Jahre war bemerkenswert: Die ersten Messungen der Schüttungskapazitäten aus den artesischen Druze- und Azraq Shishan-Quellaustritten wurden Mitte der 1950er Jahre durchgeführt und belief sich auf 400 m^3 bzw. 2600 m^3 stündlich (SCATES 1968, DUTTON 1998). Die beiden von Süden her gespeisten Shishan-Quellen lieferten täglich jeweils 1,3 Millionen l Wasser, die aus dem Norden versorgte Druze-Quellen zusammen sogar 7,3 Millionen l (MATTHEWS & HENRY 1987). Nach PARKER (1971) und DOTTRIDGE (1998) förderten die Druze-Quellaustritte um 1955 jährlich 3,5 Millionen m^3, jene der Shishan-Quellen sogar 22,8 Millionen m^3. (Anmerkung: Die Angaben der genannten Autoren stehen zu einander im

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Widerspruch, da logischerweise das Quellsystem mit der geringeren Stunden/Tagesleistung keine jährlich höhere Förderkapazität aufweisen kann. Offenbar liegt eine Verwechslung vor). Über lange Jahre hindurch versorgte damals ein guter Teil dieser großen Wassermenge neben der Ortschaft und der Oase mit ihren Agrarkulturen auch das ausgedehnte Feuchtgebiet von Azraq ganzjährig mit reichen Wasservorräten.

Übernutzung der Wasservorräte

Die natürliche Förderung der Quellaustritte war früher überaus reichlich: Bis 1963 lieferten das oberste Aquifer-System die enorme Menge von 34 Millionen l Trinkwasser täglich in die Oase Azraq, gefiltert durch seine jahrelange Reise im Untergrund (TELLER 2002). Ab September 1963 wurden erstmalig geringe Wassermengen zur Trinkwasserversorgung der rasch wachsenden Stadt Irbid im Nordwesten des Landes abgepumpt. Die zusätzliche Trinkwasserversorgung von Amman erforderte laufend eine verstärkte Wasserentnahme und so belieferte Azraq bereits 1975 die Hauptstadt mit $^2/_3$ des Wasserbedarfes und in geringerm Umfang die Stadt Mafraq. Die hydrologische Situation der Oase und die ökologischen Verhältnisse des Feuchtgebiet-Ökosystems veränderten sich jedoch dramatisch mit der Abdämmung des Wadi Rajil in Syrien, wodurch dem Qa'a während der Wintermonate weniger Wasser zufließen kann. Zur Sicherung des benötigten Wasserbedarfes für Amman erfolgte ab 1977 die Wasserentnahme aus tieferen Horizonten des Aquifers mit fatalen Folgen. Einer jährlichen Entnahme von 50 Millionen m³ konnte die Nachlieferung von 20 Millionen m³ nicht standhalten. Der oberflächennahe Quellhorizont versiegte allmählich – die Druze Quellen versiegten 1987, die Shishan-Quellen trockneten 1992 aus, zusätzlich gefördert durch Übernützung der Oasenkulturen mit geschätzten 700 illegalen Brunnenanlagen, welche dem Aquifersystem jährlich 50 MCM Wasser entnehmen (Stand 2002). Der Grundwasserspiegel sank in den 1980er Jahren innerhalb weniger Jahre von -3 m auf -40/50 m (TELLER 2002) und erforderte weitere Nachbohrungen auf -70 und -140 m ohne dadurch 1993 den völligen Trockenfall des Aquifers und der Feuchtgebiete zu verhindern. Die damals entnommene Jahres-Wassermenge belief sich auf 59-65 Millionen m³ (DOTTRIDGE 1998). Ab 1994 wurde mit dessen Sanierung begonnen. Derzeit liegt der Grundwasserspiegel in As Safawi, östlich von Azraq unter -210 m (BRDP 1999) und belieferte Amman auch 2002 noch mit 25 Millionen m³ Wasser (TELLER 2002).

Problematisch entwickelten sich auch Qualität und Salinität des verfügbaren Grundwassers. In den beiden unteren Aquiferen ist es vielfach salzig und ungenießbar, zudem sind die Kosten für die Pumpanlagen hoch (ABU-JABER 1996). Im obersten wäre die Qualität aus den Basaltschichten prinzipiell gut, doch hat sich diese durch zu starke Wasserentnahme deutlich verschlechtert und zu einem regionalen Anstieg des Salzgehaltes zwischen 100 und >4000 ppm/l geführt (ALISON et al. 1998). Durch Übernützung der süßwasserführenden Aquiferschicht ist der artesische Druck so stark gesunken, dass fossiles Salzwasser aus tiefer gelegenen Horizonten in die Trinkwasserreserven einzusickern beginnt und dieses irreversibel in Brackwasser verwandeln könnte (TELLER 2002). Was das für Ammans Wasserversorgung bedeuten würde, kann man sich unschwer vorstellen.

„Revitalisierung" der Feuchtgebiete

Das einstmals für seine einzigartige Fülle an Vögeln, Herden wilder Pferde und Wasserbüffel berühmte, riesige Feuchtgebiet Azraqs (vgl. Kap. Vögel) war 1992 durch den jahrelangen, massiven Wasserentzug bis auf einige Röhrichtbestände, flache Schlammtümpel und eutrophierte Reste von Quellbecken völlig ausgetrocknet. Der völlige Verlust dieses außergewöhnlichen Ökosystems inmitten der Basaltwüste schien unaufhaltsam. Auf Initiative der Naturschutzvereinigung RSCN (Royal Society for the Conservation of Nature) wurde ab 1998 mit der allmählichen Revitalisierung des Feuchtgebietes begonnen. Jährlich werden nun 1,5 MCM Süßwasser in die Quellteiche des Schutzgebietes „Azraq wetland reserve" zurückgepumpt (TELLER 2002, Stand 2002). Langsam erholt sich dessen ökologischer Zustand zwar, doch – verglichen mit den einstmals zahlreichen, großen Wasserflächen und

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

weiten Salzsümpfen des Qa'as – ist das Reservat trotz aller Bemühungen derzeit nicht viel mehr als der trauriger Rest eines Ökosystems.

Zukünftige Trends der Wasserversorgung

Wie auch in den innersaharischen Beckenlandschaften, unterlagern reiche **Grundwasservorkommen** als Poren- oder Kluftfüllung im Gestein der Aquifere die Arabische Halbinsel. Das gespeicherte Wasser stammt aus Perioden günstiger Niederschlagsverhältnisse (Pluvialzeiten) dieser heute ariden Gebiete und ist zumindest pleistozänen Ursprungs und Zehntausende Jahre alt, in tiefer gelegenen Speichern noch sehr viel älter und kann bis in die untere Kreidezeit zurückreichen (SCHIFFERS 1971). Teilweise **Regeneration** durch aktuelle Niederschlagstätigkeit findet nur im oberflächlichen Wasserspeicher statt – und auch hier nur zu einem Viertel der entnommenen Wassermengen – während die tieferen Grundwasserlager ausschließlich fossiles Wasser enthalten, welches – einmal verbraucht – nie mehr nachgeliefert werden kann.

Die entscheidende Grundlage der landwirtschaftlichen Entwicklung in einem Wüstenraum, an dem Jordanien einen Flächenanteil von 90 % hat, ist das Wasser. Der größte Wasserverbraucher ist die **Landwirtschaft**. Sie benötigte bereits 1987 65 % des gesamten Frischwassers (STATISTISCHES BUNDESAMT 1996). Die erschlossenen unterirdischen Ressourcen werden zu einem guten Teil durch Kreisfeldberegnung („Center-Pivot") in den landwirtschaftlichen Anbauflächen verbraucht, wie etwa im Bereich der südjordanischen Sandsteinwüste nahe Disi (Abb. 23). Unter den hohen Evaporationsverhältnissen des Wüstenklimas verbraucht der Weizenanbau pro ha 20.000 m³ Wasser, der Anbau von Futtermitteln (Luzerne) sogar die doppelte Menge (BARTH 1991). Der „Disi-Aquifer" beliefert mit seinen derzeit noch großen Wasserressourcen nicht nur die regionalen Agrarkulturen und ermöglicht sogar die Existenz von Olivenplantagen in einem für diese Bäume des Mittelmeergebietes ungeeignetem Klimaraum, sondern auch die umliegenden Ortschaften bis an die Küste nach Aqaba. Hier sieht der Masterplan der Stadtverwaltung die weitgehende Verbauung der Küste durch Hotelkomplexe der Luxusklasse vor und es darf bezweifelt werden, dass – trotz entsprechender behördlicher Auflagen – jedes Hotel eine eigene Grundwasserversorgung besitzt, welche den Disi-Aquifer entlastet. Dieses küstennahe erschlossene Wasser hat vielfach Brackwassercharakter und eignet sich bestenfalls als Brauchwasser, keinesfalls für den menschlichen Genuss. Vergleichbar ist die Situation mit vielen Hotelanlagen auf der Halbinsel Sinai, in denen Süßwasser eine Rarität ist.

Durch überstarke Nutzung ist der Grundwasserspiegel des Disi-Reservoirs in den vergangenen Jahren in einzelnen Bereichen stark abgefallen. Nach SALAMEH (1991) betrug die Senkung 9 m, obwohl damals jährlich etwa 30 Millionen m³ unterirdisch aus Saudi-Arabien zuflossen. Dieser Zufluss hat vermutlich durch verstärkte Wasserentnahme aus dem selben Reservoir auf saudi-arabischer Seite stark abgenommen (SCHIFFLER 1993).

Trotz dieses dramatischen Rückganges der Disi-Grundwasserressourcen wird die Trinkwasserversorgung Ammans künftig über eine neue Leitung aus dem Disi-Gebiet erfolgen – ein 600 Millionen $ Geschenk Libyens – da die schwindende Grundwasserqualität aus Azraq eine solche auf Dauer unmöglich macht. Noch immer für den Wasserverbrauch problematisch und dringend erneuerungsbedürftig ist auch das undichte städtische Wasserleitungsnetz, durch das derzeit angeblich noch 35 % (TONDOK 2001) bis 55 % (TELLER 2002) des eingespeisten Wassers auf dem Weg zum Verbraucher verloren gehen.

Ein nicht weniger dramatisches Beispiel betrifft etwa die Entwicklung des Obstanbaues im Bereich des Grundwasserspeichers von Umm al-Quttayn im Bereich der syrischen Wüste nordwestlich von Azraq, wo der wasserführende Horizont 400 m tief liegt. Durch die von den lokalen Farmern beabsichtigte Vergrößerung der landwirtschaftlichen Anbauflächen – insbesondere für Obstplantagen (vorwiegend Äpfel) – würde der jährliche Wasserverbrauch von derzeit 650.000 m³ in 10 Jahren auf 2 Milli-

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

onen m³ ansteigen, da alte Bäume mehr Wasser benötigen (WADDINGHAM 1998).

Die Praxis des allmählichen Leerpumpens unterirdischer Wasserlagerstätten („groundwater-mining") verursacht neben hohen Erschließungskosten ökonomische und auf Dauer große ökologische Probleme. Solche könnten sich etwa durch die plötzliche Leere der unterirdischen Wasserbehälter und deren Auswirkungen auf die Landschaftsstruktur ergeben (VIERHUFF 1991).

Dramatische Folgen jedoch hat die Zunahme der **Salinität** im Grundwasser (vgl. Kap. Azraq). Dieses zeichnet sich in ariden Gebieten in der Regel durch eine viel höhere Salzfracht aus als das Oberflächenwasser. Salz- und mineralreiche Gesteinschichten ehemaliger Meeresablagerungen sind Lieferanten. Eine solche Zone besonders hochgradig versalzenen Grundwassers erstreckt sich zu beiden Seiten des Jordan (BENDER 1968, FLATHE 1968). Etwa ein Viertel der Böden des Jordantales weisen einen erhöhten Salzgehalt auf. Die Einspeisung in das Bewässerungssystem von Agrarkulturen, wie sie in ariden Gebieten mangels zur Verfügung stehenden Oberflächenwassers meist praktiziert wird, muss daher unter Bedachtnahme auf die direkten toxischen Auswirkungen des Salzes auf die Feldfrucht und die indirekten Auswirkungen auf die Bodenstruktur äußerst vorsichtig erfolgen und verlangt immer wieder auch eine Ausspülung der Salze und Drainage der Böden (BOGENRIEDER 1982, SCHIFFLER 1993). Die hohe Evaporation trägt zusätzlich ihren Teil zum Salinitätsproblem bei.

Eine deutliche Verbesserung der gesamten Wasserproblematik hat sich in den landwirtschaftlichen Bewässerungsflächen durch Tropfsysteme ergeben. Mit dieser Technik versorgte Bananenplatagen benötigen auf einem halben Hektar nur mehr 2000 m³ statt 7000 m³ Wasser, wie das bei der früher üblichen Flutung der Kulturflächen erforderlich war (VESILIND 1993). Weiters sind die besonders in Israel erfolgreich durchgeführten Experimente in der Zucht brackwasserresistenter Gemüsesorten, wie Kürbisgewächse oder die verstärkte Verwendung verschiedener Arten von Gänsefußgewächsen (Chenopodiaceen) (zu denen auch der Spinat zählt) zu erwähnen. Insbesondere gewinnt die Gattung *Atriplex* (z. B. *A. halimus*) an Bedeutung, die als Spezialist ökophysiologischer Anpassung sogar noch auf extremen Salzböden gedeihen kann. Ihr hoher Proteingehalt und bescheidener Wasserbedarf machen sie zu einer wertvollen Pionierart, welche durch entsprechende Vorkultivierung und konsequenten Fraßschutz in der Jugendphase imstande wäre, rasch auch vegetationsfreie Flächen zu besiedeln oder zu regenerieren und als wertvolle Futterpflanze in den kargen Wüstengebieten auch wirtschaftliche Aspekte abzudecken (GOODIN 1990). Bemerkenswert ist zudem, dass sich zahlreiche neue Untersuchungen aus naheliegenden Gründen mit der Grundwasserdynamik (z.B. AL-FARAJAT 2002) bzw. mit dem Zusammenspiel von Bewässerung und landwirtschaftlicher Ertragssteigerung befassen (z.B. MAS'ADA 2000).

Aussichten

Das jährliche Bevölkerungswachstum von 4,4 % (INTERNET 2001) reiht Jordanien in die weltweite Spitzengruppe. Fortschreitende Verstädterung, wachsende Industrialisierung und der Ausbau der Bewässerungslandwirtschaft bewirken eine stetige Zunahme des Wasserverbrauches. Betrug dieser für die Versorgung der Bevölkerung um 1990 noch 740 Millionen m³/Jahr, so wird er bis 2020 auf jährlich 2,1 Milliarden m³ steigen, wodurch sich zugleich ein Defizit von 1,3 Millionen m³ ergäbe (ALLISON et al 1998). Rund drei Viertel davon wird die landwirtschaftliche Nutzung benötigen. Die Zukunft der landesweiten Wasserversorgung wurde bereits von SCHIFFLER (1993) als stark defizitär bezeichnet und sieht nach einer FAO-Studie dramatisch aus. Demnach soll bei gleichbleibender Wassernutzung (eine leider nicht realisierbare Vorstellung) der gesamte unterirdische Wasservorrat bis 2030 restlos aufgebraucht sein. Die Berechnungen für Israel und Saudi Arabien sind ähnlich pessimistisch gehalten (POSTEL 1999). Anderen Angaben zufolge wird zumindest der Grundwasserspiegel des Hauptlieferanten in der südjordanischen Wüste bis dahin auf -200 m absinken (TONDOK 2001). Die allgemeine Klimaerwärmung wird die Schwierigkeiten der Wasserversorgung schon in naher Zukunft vergrößern.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die quantitative Wasserknappheit wird zusätzlich durch Minderung der Qualität verschärft. Abwässer werden noch unzureichend geklärt, Rückstände aus Landwirtschaft (Dünger, Pestizide), Industrie und den Haushalten werden nicht sachgemäß entsorgt, unkontrollierte, wilde Mülldeponien finden sich überall im Land und kontaminieren z. T. auch das Trinkwasser (WAITZBAUER & ORTEL 1996). AL-FARAJAT (2002) konnte am Beispiel des Graben-Aquifers (Red Sea basin), welcher tief unter den pleistozänen Schottermassen des Wadi Araba verläuft, feststellen, dass sich dessen Qualitätsbilanz durch gesteigerte Bewirtschaftung des durchlässigen Bodens stark negativ entwickelt.

Die ohne ökologische Schäden jährlich entnehmbaren Grundwasserreserven belaufen sich auf etwa 220-250 MCM. Hinzu kommen noch Oberflächenwasserreserven von etwa 480 MCM aus Flüssen und Quellen, die jedoch ebenfalls in direktem Zusammenhang mit dem Grundwasser stehen (NATIONAL ATLAS OF JORDAN 1986, VIERHUFF 1991), wobei der Hauptanteil aus dem Yarmukgebiet stammt. Der israelisch-jordanische Friedensvertrag von 1994 hat für Jordanien hinsichtlich der Wasserzuteilung aus dem Jordan und Yarmuk zwar deutliche Verbesserungen gebracht, dennoch aber umfassen diese beiden Zuflüsse 36 % des gesamten Wasserpotenzials Jordaniens und verdeutlichen die Abhängigkeit des Landes von ihren nördlichen und westlichen Nachbarstaaten (AL-ALAWI & ABDULLRAZZAK 1995).

Die vorangehend dargestellte Problematik der Wasserversorgung ist eine generelle aller ariden Gebiete und nimmt durchaus dramatische Entwicklungen an. Die Übernutzung fossiler Grundwasserreserven hat in Marokko und Tunesien bereits vor 10 Jahren zur Ausbeutung von mehr als 50 % der unterirdischen Ressourcen geführt (MAMOU 1993). Ebenso gefährlich ist auch der unkontrollierte Einsatz von Motorpumpen um die Kulturen mit Grundwasser zu versorgen. So hat sich im Oasengürtel um Damaskus die Zahl der illegal verwendeten Pumpen seit der „Agrarreform" Syriens, der Privatisierung von staatseigenem Boden, in 30 Jahren von 5 auf 12.000(!) gesteigert. Die unmittelbare Folge war die Absenkung des Grundwasserspiegels auf über 100 m Tiefe. Innerhalb von 30 Jahren hatte sich eine ehemals blühende Oase hektarweise in eine Halbwüste mit versalzten, toten Böden verwandelt (MAINGUET 1996). LE HOUEROU (1977) hat als Faustregel für Gebiete mit mediterranen Niederschlagsverhältnissen empfohlen, die Produktionsgrenze von 32 kg Trockenmasse/ha an menschlich nutzbarem Anbaugut nicht zu überschreiten, um die Nutzungskapazität und den Feuchtehaushalt der Böden nicht zu gefährden. In agrarwirtschaftlich intensiv genützten Gebieten des nördlichen Saudi Arabiens werden diese Grenzen meist um ein Vielfaches überschritten, wodurch letztlich die Desertifikation gefördert wird (HALWAGY et al. 1990). Solche Beispiele mögen eine große Warnung sein, gleiche Fehler nicht auch in Jordanien zu begehen!

Zusammenfassung

Jordanien ist ein wasserarmes Land. Die einzigen bedeutenden und ganzjährig wasserführenden Flüsse sind der Jordan und sein Nebenfluss der Yarmuk sowie das Wadi Main, welches durch Wasser aus Thermalquellen versorgt wird. Alle anderen Fließgewässer sind Wadis, die im Sommer weitgehend trocken sind. Reiche Wasserzuflüsse erhält die Oase Azraq in der östlichen Wüste durch artesische Aquifersysteme aus dem syrischen Raum. Das Wasser des oberen Aquifers ist Trinkwasser und wird zur Wasserversorgung von Amman abgepumpt. Dadurch sind auch die berühmten Quellteiche der Oase bis zu ihrer teilweisen Sanierung vor einigen Jahren trockengefallen. Durch Winterregen füllt sich die große Tonpfanne (Sebka Playa) von Azraq mit Wasser und ist dann ein bedeutendes Rast- und Schutzgebiet durchziehender Zugvögel. Zahlreiche Grundwasserprovinzen unterlagern Jordanien. Große, jedoch nicht erneuerbare fossile Grundwasservorräte liegen im Boden der Südjordanischen Wüste bei Disi. Sie dienen ebenfalls zur Trinkwasserversorgung von Amman und zur Beregnung von Feldkulturen. Riesige, aber noch weitgehend unerforschte Grundwasserreserven sind in den tiefen pleistozänen Schottern des Wadi Araba gespeichert. Insgesamt aber ist die Wassersituation Jordaniens durch die rasch wachsende Bevölkerung, den hohen

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Wasserbedarf der Landwirtschaft und den steigenden Tourismus sehr angespannt und kann schon in naher Zukunft problematisch werden. Das Tote Meer, der tiefste Punkt der Erde, ist das extremste Salzgewässer der Erde mit einer komplizierten Enstehungsgeschichte.

Literatur

ABU-JABER N. (1996): Field-Trip Guide — Int. Conf. „Past, Present and Future of the Middle East Desert", Irbid, Jordan 1996, Yarmouk University: 1-23.

ABU-SAFAT M. (1986): Verwitterung und Hangabtragungen im „Nubischen Sandstein Jordaniens". — Mitt. Fränk. Geogr. Ges., Stuttgart **33/34**: 129-256.

AL-ALAWI J. & M. ABDULLRAZZAK (1995): Water in the Arabian Penninsula: Problems and perspectives. — In: ROGERS P. & P. LYDON (eds), Water in the Arab world. Harvard Univ. Press, Cambridge: 46-85.

AL-EISAWI D. (1985): Vegetation of Jordan. — In: HADIDI A. (Ed.), Studies in the History and Archaeology of Jordan **1**: 45-57.

AL-FARAJAT M. (2002): Hydrogeo-Eco-Systems in Aqaba/Jordan - coasts and region. http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus/volltexte/2002/241/.

ALLISON R.J, HIGGITT D.L., KIRK A.J., WARBUTON J., AL-HOMOUD A.S., SUNNA B.F. & K. WHITE (1998): Geology, geomorphology, Hydrology, Groundwater and physical resources. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin. Kegan, London: 21-44.

ATALLAH M. (1991): Origin and evolution of the Dead Sea. — In: Geology of Jordan. 15-20, Goethe-Institut und Al Kutba Publishers, Amman: 1-58.

BAIERLE H.U. (1993): Vegetation und Flora im südwestlichen Jordanien. — Borntraeger Verlag, Berlin: 254 S+7 Beil.

BARTH H.K. (1991): Die teure Zähmung der Wüste. Agrarerschließung in Trockengebieten. — In: STÜBEN P.E. & V. THURN (Hrsg.), Wüsten der Erde. Der Kampf gegen Durst, Dürre und Desertifikation. Ökozid **7**: 187-199, Focus Verlag, Gießen: 1-237.

BENDER F. (1968): Geologie von Jordanien. — Borntraeger, Berlin: 1-230.

BENDER F. (1974): Exploratory notes on the geological map of the Wadi Araba, Jordan. — Geol. Jb. (Hannover), **B/10**: 1-62, 1 Karte.

BENDER H., HOBLER M. & RASHDAN J. (1991): New aspects of the groundwater system of Jordan. — In: Geology of Jordan: 33-36, Goethe-Institut und Al Kutba Publishers, Amman: 1-58.

BENTOR Y.K. (1961): Some geochemical aspects of the Dead Sea and the question of its age. — Geochimica et Cosmochimica Acta, Oxford **25**: 239-260.

BOGENRIEDER A. (1982): Bodenversalzung in der Bewässerungslandwirschaft arider Zonen. Naturwiss. Rundschau 35, 3: 103-109.

BOYD J.M. (Ed.) (1967): International Jordan Expedition 1966. — IBP/CT Section, unpubl. Projektber., London, 1-84.

BRDP (1999): Jordan Badia research and development programme. — Informationsblatt, Jubaiha, Jordanien.

CHEMICAL CONSTRUCTION CORPORATION (1954): Potassium Chloride and By-products from the Dead Sea. — Unpubl. Rep. to the Jord. Govern., Arch. Nat. Res. Authority, New York. Zit in BENDER F. (1968): Geologie von Jordanien. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde. Borntraeger Verlag, Stuttgart-Berlin: 1-230.

CLARKE J. (1979): A proposal for wildlife reserves in Jordan. — The Royal Society for the Conservation of Nature (RSCN), Amman: 1-114.

COPE T.A. & D. AL-EISAWI (1998): Checklist of the Flora. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 183-188. Kegan, London: 1-332. [Anmerkung: Es handelt sich um eine Florenliste der nordöstlichen Basaltwüste um die Oase Azraq (Badia region).]

DAN J. (1988): The soils of the land of Israel 95-128. — In: YOM-TOV Y. & E. TCHERNOV (eds.), The Zoogeography of Israel. The distribution and abundance at a zoogeographical crossroad. Junk Publishers, Dordrecht-Boston: 1-600.

DAY A.J. (1994): Jordan: Economy. — Middle East and North Africa: 545-556.

DOBSON S.J., JAMES S.R., FRANZMANN P.D.& T.A. MCMEEKIN (1990): Emended descripion of *Halomonas halmophila* (NCMB 1971). — Int. J. Syst. Bacteriol. **40**: 462-463.

DOTTRIDGE J. (1998): Water resources quality, sustainability and development. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 67-79. Kegan, London: 1-332.

DOTTRIDGE J. & B. GIBBS (1998): Water for sustainable development. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 111-118. Kegan, London: 1-332.

DRURY D.M. (1993): The hydrochenmistry of the Azraq Basin. N.E. Badia. — Unpubl. M.Sc.thesis, Univ. College London. ? Zit in: NOBLE P. (1998), Quantification of recharge to the Azraq Basin. In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 103-109, Kegan, London: 1-332.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

DRURY D.M. (1998): Baseline hydrochemical study of the Azraq Basin. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 81-85. Kegan, London: 1-332.

DUTTON R.W. (1998): Population, environment and development. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin 3-20. Kegan, London: 1-332.

ELAZARI-VOLCANI B. (1940): Algae in the bed of the Dead Sea. — Nature **145**: 975.

ELAZARI-VOLCANI B. (1943): Bacteria in the bottom sediments of the Dead Sea. — Nature **152**: 274-275.

ELAZARI-VOLCANI B. (1944): A ciliate from the Dead Sea. — Nature 154: 335-336.

ELAZARI-VOLCANI B.(1953): A dimastigamoeba in the bed of the Dead Sea. — Nature **152**: 301-302.

EL-EISAWI D. (1985): Vegetation of Jordan. — In: HADIDI A. (ed.), Studies in the History and Archaeology of Jordan **1**: 45-57.

FISHER W.B. (1978): The Middle East. — 7th Edition. Methuen & Co., London: 1-615.

FLATHE H. (1968): Geoelektrische Untersuchung der Grundwasserversalzung im südlichen Jordantal. — Geol. Jb. **85**: 767-782.

FRANK G. & WEGMANN K. (1974): Physiology and biochemistry of gylcerol biosynthesis. *Dunaliella*. — Biol Zl. **93**, 707-723.

FRIEDMANN A. (1911): Die chemische Erforschung des Toten Meeres. — Z. „Palästina" **4-5**, Leipzig. Zit in BENDER F. (1968): Geologie von Jordanien. Beiträge zur regionalen Geologie der Erde. ? Borntraeger Verlag, Stuttgart - Berlin: 1-230.

GAVRIELI I. (1997): Halite deposition from the Dead Sea: 1960-1993: 161-170. — In: NIEMI T., BEN-AVRAHAM Z. & J.R. GAT (Eds.): The Dead Sea – The lake and ist setting. Oxford University Press, Oxford.

GAVRIELI I., BEYTHZ M. & Y. YECHIELI (1998): The Dead Sea- a terminal lake in the Dead Sea rift: a short overview. — In: OREN A. (Ed.): Microbiology and biogeochemistry of hypersaline environments: 121-127. CRC-Press, Boca Raton: 1-365.

GARFUNKEL Z. (1988): The pre-Quaternary geology of Israel. — In: YOM-TOV Y & E. TCHERNOV (eds.), The zoogeography of Israel: 7-34. Junk Publishers, Dordrecht-Boston: 1-600.

GLEICK P.H. (2001): Safe water data: Pacific Institute. — Nat. Geogr. **4**: 2001.

GOODIN J.R. (1990): Biomass and forage production in ther arid and semi-arid zone. — In: HALWAGY R., TAHA F.K. & S.A. OMAR (eds.), Advances in range management in arid lands: 155-161. Proc. 1.-Int. Conf.on Range Mangement in the Arabian Gulf. Kegan, London.

HAALAND A. (1998): Hydrogeology and hydrochemistry of the Sirhan and Hammad basins. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 95-102. Kegan, London: 1-332.

HALWAGY R., TAHA F.K. & S.A. OMAR (1990): Advances in range management in arid lands. — Proc. 1.-Int. Conf. on Range Mangement in the Arabian Gulf. Kegan, London: 1-221.

HOROWITZ A. (1988): the Quaternary environments and palaeogeography of Israel. — In: YOM-TOV Y & E. TCHERNOV (eds.), The zoogeography of Israel: 35-58. Junk Publishers, Dordrecht-Boston: 1-600.

INTERNET (2004): *Dualiella salina* Algae. — www.ganzheitsmedizin.de/forum/messages/3437.html-13k

JOHNSON C. (1996): Taking the waters of the Mujib. — Al Reem (Amman) **59**: 10-11.

KLEIN M. (1988): The geomorphology of Israel. — In: YOM-TOV Y & E. TCHERNOV (eds.), The zoogeography of Israel: 7-34. Junk Publishers, Dordrecht-Boston: 1-600.

KONZELMANN G. (1990): Der Jordan. Ur-Strom zwischen Heil und Haß. — dtv Sachbuch, dtv-Verlag, Nördlingen: 1-505.

LACHMANN S. (1933): Die Mineralquellen Palästinas. — Z. f. den Aufbau Palästinas, Landeck, Schl. **16**: 222-235.

LE HOUEROU H.W. (1977): Rangeland production and annual rainfall relations in the Mediterranean Basin and in the African Sahelo-Sudanian Zone. — J.Range Manage. **30**: 181-187.

MAINGUET M. (1996): Aridity. Droughts an human development — Springer-Verlag, Berlin: 1-302.

MAMOU A. (1993): Ressources en eau des régions arides et désertiques du Maghreb. — Cours sur le développement des zones arides et desertiques. IRA, Médénine, Tunisie: 1-36.

MAS'ADA A. (2000): A geomorphological approach to water balance, drought parameters and crop regimes: A case study from North Jordan. — Bull. Soc. Géogr. Égypte **73**: 215-243.

MATTHEWS M. & G. HENRY (1987): Azraq. — ohne Verlagsangabe, Amman: 1-32.

MULLAKHANBHAI M.L. & H. LARSEN (1975): *Halobacterium volcanii* spec. nov., a Dead Sea halobacterium with a moderate salt requirement. — Arch. Microbiol. **104**: 207-214.

National Atlas of Jordan (1986): Hydrology and Agrohydrology. — Royal Jordanian Geographic Center. First Edition.

NELSON B. (1973): Azraq: desert oasis. — ohne Verlagsangabe, London: 1-85.

NOBLE P. (1998): Quantification of recharge to the Azraq Basin. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 103-109, Kegan, London: 1-332.

NOVOMEYSKY M.A. (1936): The Dead Sea: A storehouse of chemicals. — Trans. Inst. Chem. Eng. (London), **14**: 60-81.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

OREN A. (1983): *Halobacterium sodomense* sp. nov., a Dead Sea halobacterium with extremely high magnesium requirement and tolerance. — Int. J. Syst. Bacteriol. **33**: 381-386.

OREN A. & P. GUREVICH (1993): Characterization of the dominant halophilic Archaea in a bacterial bloom in the Dead Sea. — FEMS Microbiol. Ecol. **12**: 249-256.

OREN A. & P. GUREVICH (1995): Dynamics of a bloom of halophilic Archaea in a bacterial bloom in the Dead Sea. — Hydrobiologia **315**: 149-158.

OREN A. & M. SHILO (1982): Population dynamics of *Dunaliella parva* in the Dead Sea. — Limnol. Oceanogr. **27**: 201-211.

OREN A., GUREVICH P., ANATI D.A., BARKAN E. & B. LUZ (1995): A bloom of *Dunaliella parva* in the Dead Sea in 1992: biological and biochemical aspects. — Hydrobiologia **297**: 173-185.

OREN A., WEISBURG W.G., KESSEL M. & C.R. WOESE (1984): *Halobacteroides halobius*, gen. nov, sp. nov., a moderately halophilic anaerobic bacterium from the bottom sediments of the Dead Sea. — Syst. Appl. Microbiol. **5**: 58-70.

ORF (2004): Stirbt das Tote Meer? — Mag. d. Wiss., Mai 2004.

PARKER D.H. (1971): The hydrogeology of the mesozoic-cainozoic aquifers of the western highlands and plateau of East Jordan. — Unpubl. Ph. D. thesis, Univ.of Nottingham. Zit. in: DOTTRIDGE J. & B. GIBBS (1998), Water for sustainable development. In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: ? 111-118. Kegan, London: 1-332.

POSTEL S. (1999): Der Kampf ums Wasser. — Worldwatch Paper **21**, Wochenschauverlag, Schwalbach/Ts: 1-87.

RAINEY F.A., ZHILINA T.N., BOULYGINA W.S., STACKEBRANDT E., TOUROVA T.P. & G.A. ZAVARZIN (1995): The taxonomic status of the fermentative halophilic anaerobic bacteria: description of Haloanaerobiales ord. nov., Halobacteroidaceae fam. nov., *Orenia* gen. nov. and further taxonomic rearrangements at the genus and species level. — Anaerobe **1**: 185-190.

SCATES M.D. (1968): Notes on the hydrobiology of Azraq Oasis. Jordan. — Hydrobiologia **31**: 73-80.

SCHIFFERS H. (Ed.) (1971): Die Sahara und ihre Randgebiete. Darstellung eines Naturgroßraumes, 1.Physiogeographie. — Weltforum Verlag, München: 1-674.

SCHIFFLER M. (1993): Nachhaltige Wassernutzung in Jordanien. — Bericht u Gutachten, Dtsch. Inst. f. Entwicklungspolitik Berlin: 1-97.

Statistisches Bundesamt (1996): Länderbericht Jordanien. — Metzler-Poeschel-Verlag, Stuttgart: 1-124.

TELLER M. (2002): The rough guide to Jordan. — Rough Guides, London: 1-474.

TONDOK W. (2001): Jordanien. Reisen zwischen Jordan, Wüste und Rotem Meer. — Reise Know-How Verlag Tondok, München: 1-308.

VENTOSA A., GUTIERREZ M.C., GARCIA M.T. & F. RUIZ-BERRAQUERO (1989): Classification of *„Chromatobacterium marismortui"* in an new genus, *Chromohalobacter* gen. nov., as *Chromohalobacter marismortui* comb. nov., nom.rev. — Int. J. Syst. Bacteriol. **39**: 382-286.

VESILIND P.J. (1993): The Middle East's water critical resource. — Nat. Geogr. **183**: 38-72.

VIERHUFF H. (1991): Groundwater resources in Jordan: retrospective summary of the approach and results concerning groundwater in the National Water Master Plan of Jordan. — In: Geology of Jordan: 39-42, Goethe-Institut und Al Kutba Publishers, Amman: 1-58.

VOLCANI B.E. (1944): The microorganisms of the Dead Sea. ? Papers to commemorate the 70th anniversary of Dr. Chaim Weizmann: 71-85. Daniel Sieff Res. Inst. Rehovoth.

WADDINGHAM J. (1998): Water demand. — In: DUTTON R.W., CLARKE J.I. & A.M. BATTIKHI (Eds.), Arid land resources and their management. Jordan's desert margin: 119-125. Kegan, London: 1-332.

WAITZBAUER W. & J. ORTEL (1996): About the ecology of springpools in Pella (Jordan Valley, Jordan). — unveröff. Manuskript.

WEGMANN K. (1982): *Dunaliella* – Lebenskünstler der Salzseen. — Verh. Ges. Ökol. (Bern 1982) **12**, (1984): 589-595.

WINTER E. (1990): Characteristics and distribution of Halophytes at a Jordanian saltpan. — Flora **184**: 341-367.

Anschrift der Verfasser:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang WAITZBAUER
Universität Wien
Institut für Ökologie und Naturschutz
Althanstraße 14
A-1090 Wien/Austria
E-mail: Wolfgang.Waitzbauer@univie.ac.at

Mag. Bibiane PETUTSCHNIG
147 South Oxford Street, Apt. 4B
Brooklyn NY 11217
USA
E-mail: b.petutschnig@gmx.at